

## СПОСОБЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕЧЕЙ С ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ

Под импульсным отоплением термических и нагревательных печей понимается отопление включением на полную мощность и полным отключением горелок на определенные промежутки времени. Для регулирования печей с импульсным отоплением используются в основном две системы автоматического управления:

- 1) система, базирующаяся на управлении клапаном-отсекателем, установленным на зону или группу горелок;
- 2) система управления каждой горелкой.

При работе зонального клапана-отсекателя все горелки зоны включаются и выключаются одновременно, схема же управления каждой горелкой характеризуется включением горелок не одновременно, а последовательно, друг за другом. Система управления каждой горелкой имеет ряд преимуществ перед системой с зональным клапаном-отсекателем, но более сложна в настройке и управлении, поскольку на импульсный элемент системы накладываются дополнительные требования.

Требуемая тепловая нагрузка для поддержания заданной температуры определяется соотношением времени подачи и временем отключения топлива в печь, а один из параметров последовательности импульсов – период или длительность импульса является настроечным в системе автоматического регулирования. В редких случаях настроечными являются оба параметра. Таким образом, управление тепловой нагрузкой может осуществляться изменением длительности импульсов при постоянном периоде в случае широтно-импульсной модуляции (ШИМ), изменением частоты следования импульсов постоянной длительности при частотно-импульсной модуляции (ЧИМ) и одновременным изменением длительности и периода следования импульсов в случае комбинированной частотно-широтно-импульсной модуляции.

Особенности использования различных видов модуляции температуры печей с импульсным отоплением связаны с глубоким изменением тепловой нагрузки в ходе термообработки и соответствующим изменением амплитуды колебаний температуры в печи. Кроме того, знание характера изменения амплитуды колебаний температуры позволяет оценить количество включений регулирующих органов в цикле термообработки, т.е. требуемый ресурс органов.

Объект регулирования можно описать как аperiodическое звено первого порядка. Тогда характер изменения амплитуды колебаний при различных видах модуляции можно проследить, используя следующее соотношение:

$$\Delta t = \frac{K_0}{1 - e^{-\frac{T}{\tau_0}}} \left( e^{\frac{-qT}{\tau_0}} - 1 \right) \left( e^{\frac{(q-1)T}{\tau_0}} - 1 \right) \quad (1)$$

или при  $T < T_0$  с ошибкой не более 2% при замене  $e^x = 1 + x$

$$\Delta t = \frac{Tq(1-q)}{T_0} K_0, \quad (2)$$

где  $\Delta t$  - удвоенная амплитуда колебаний температуры;  $K_0$ ,  $T_0$  - параметры объекта регулирования;  $T$  - период следования импульсов;  $q = \frac{\tau_{\text{им}}}{T}$  - коэффициент заполнения;  $\tau_{\text{им}}$  - длительность импульса.

Используя эти формулы, можно сказать, что в случае ШИМ при изменении тепловой нагрузки печи в диапазоне 0-100% амплитуда колебаний изменяется по параболической зависимости, причем максимальная величина удвоенной амплитуды при  $q = 0,5$  равна

$$\Delta t_{\text{max}}^{\text{шим}} = 0,25T \frac{K_0}{T_0} = 0,5\tau_{\text{им}} \frac{K_0}{T_0}. \quad (3)$$

При фиксированной длительности импульсов в случае ЧИМ зависимость амплитуды колебаний от величины тепловой нагрузки линейная, максимум удвоенной амплитуды колебаний наблюдается при  $T \rightarrow \infty$  ( $q \rightarrow 0$ ) и равен

$$\Delta t_{\text{max}}^{\text{чим}} = \tau_{\text{им}} \frac{K_0}{T_0}, \quad (4)$$

т.е. вдвое больший, чем при ШИМ.

В случае комбинированной модуляции ЧШИМ изменение длительности импульсов и периода может происходить по более сложным законам, чем при ШИМ и ЧИМ, и зависит от закона изменения  $\tau_{\text{им}}$  и  $T$ . Например, при  $\tau_{\text{им}} = \frac{C}{1-q}$  и  $T = \frac{C}{q-q^2}$  ( $C$  - комплекс постоянных настроечных величин), зависимость может выглядеть следующим образом:

$$\Delta t_{\text{чим}} = C \frac{K_0}{T} = \text{const} \quad (5)$$

По виду полученных характеристик изменения амплитуды колебаний можно сказать, что количество включений двухпозиционного регулирующего органа с различными видами модуляции при выполнении одних и тех же режимов термообработки будет различно. Сравнительную оценку количества включений можно провести, используя зависимости периода от коэффициента заполнения:

$$\begin{aligned} T_{\text{шим}} &= \frac{\Delta t_{\text{max}} T_0}{K_0 \cdot 0,25}; \\ T_{\text{чим}} &= \frac{\Delta t_{\text{max}} T_0}{K_0 \cdot q}; \\ T_{\text{чим}} &= \frac{\Delta t_{\text{max}} T_0}{K_0 \cdot q(1-q)}. \end{aligned} \quad (6)$$

В заключение необходимо сказать, что выбор способа автоматического регулирования печи с импульсной системой отопления может определяться многими факторами, среди которых особенности режимов нагрева, диапазон изменения тепловой нагрузки, конструкция и тепловая схема печи, условия ра-

боты горелочных устройств, возможности регулирующих органов и т.д. При выборе вида импульсной модуляции как составной части системы автоматического регулирования необходимо учесть, что ЧШИМ является предпочтительной по обеспечению наибольшего диапазона тепловой нагрузки, но хуже других по управлению включением горелок. ЧИМ приемлема для обеспечения наибольшего диапазона тепловой нагрузки, но ограничена по управлению включением горелок. ШИМ предоставляет большую свободу в управлении включением горелок, но не лучшая по количеству включений и располагаемому диапазону изменения тепловой нагрузки.